

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.05.010

# 基于 PLC 的模糊控制在雷管装管机中的应用\*

朱维璐 安国庆

河北科技大学电气工程学院(河北石家庄,050018)

[摘 要] 针对雷管生产过程中传统的人工装管过程繁琐、工作量大、效率低的状况,研制了雷管装管机。该装置在机械结构设计的基础上,提出了一种基于 PLC 的模糊控制方法,该方法以装管机中的主要变量装管速度、传送带速度和推模速度为被控对象,通过模糊推理、离散计算和在线查表的模糊控制方法,以 PLC 控制步进电机的装管速度作为基本控制依据,以 PLC 控制推模速度,同时控制变频器频率,进而调节传送带的速度为被控参数,使装管机的各部分工作协调一致,并保持在最佳状态。应用结果表明,该装置不但性能可靠,而且还操作方便。

[关键词] 雷管装管机;模糊推理;离散计算;模糊控制;步进电机;变频器

[分类号] TD235.2<sup>+</sup>2;TP273<sup>+</sup>.4

在我国,虽然民爆企业的自动化水平越来越高,但发展并不平衡,如在雷管装管过程中,有些企业还停留在手工作坊式操作上<sup>[1]</sup>,为此本文研制了基于 PLC 模糊控制的雷管装管机<sup>[2]</sup>。

## 1 对装管机的性能要求

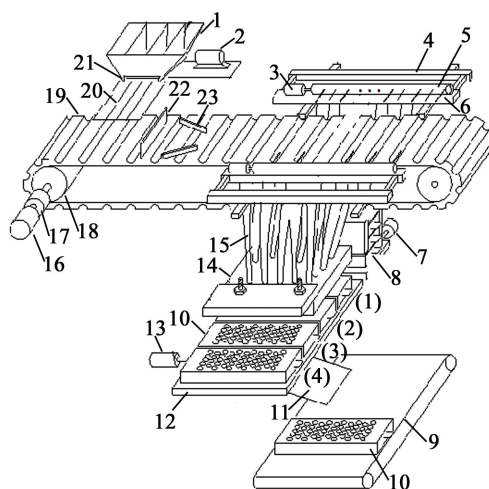
- 1) 装管规格:长度 45 ~ 110 mm,金属管壳。
- 2) 装管正向率:管口向上,100%。
- 3) 工作效率:≥2 万发/小时。
- 4) 操作简单,工作可靠,要有故障报警及自保护功能。

## 2 装管机的工作原理

其原理结构如图 1 所示,将某一规格的散装空管壳倒入料斗 1 中,按下启动按钮,振动电机 2、拖动电机 16 工作,调节料斗底部的漏管阀 21,可使适量的管壳漏出并沿滑板 20 落在传送带 19 上;同时电磁离合器 17 带电而闭合,通过驱动轮 18 带动传送带运转。当传送带向前运行 50 个槽的距离后,电磁离合器断电分离,传送带停止运行,同时漏管阀自动关闭。

传送带停止运行后,安装在其两侧的进给支架 4 及支架上的步进电机 3、旋转轴 5 及插针 6 同时向内运动,将插针插进传送带上的管壳内;接着步进电机带动旋转轴及插针旋转 240°,将雷管管壳放入漏管器 15 中;而后进给支架复位,步进电机反转带动插针复位,完成正向工作。

雷管管壳通过漏管器 15 进入装管上模 14,在位置(1)和位置(2)分别给组合模 10 装入 30 个和



1 - 料斗;2 - 振动电机;3 - 步进电机;4 - 进给支架;  
5 - 旋转轴;6 - 插针;7、13 - 气缸;8 - 存模盒;9 - 传送带;10 - 组合模;11 - 滑道;12 - 装模平台;14 - 装管上模;15 - 漏管器;16 - 拖动电机;17 - 电磁离合器;18 - 驱动轮;19 - 传送带;20 - 滑板;21 - 漏管阀;22 - 刮板;23 - 居主板

图 1 整体结构示意图

Fig. 1 Whole structure diagram

20 个管壳。延时 2 s 后装模平台 12 向下运动,当其平面与存模盒 8 的底板平齐后停止下行。延时 2 s,气缸 7 动作,将待装的组合模再次从存模盒中推出,并将原来在位置(1)和位置(2)的组合模分别向前推动一个组合模的距离,使其位于位置(2)和位置(3),当到达位置(4)时,气缸 13 动作,经滑道 11 将已装好管壳的组合模推到雷管组装生产线传送带 9

\* 收稿日期:2014-12-01

作者简介:朱维璐(1957~),男,教授,主要从事电机及其自动控制方向的教学研究。E-mail:zhuwl1888@163.com

上,完成自动装模和送模工作。

### 3 模糊控制在自动装管机中的应用

该系统的输入量为雷管管壳和空组合模,输出量为已装满管壳的组合模,由于系统容易受到诸如漏管阀开启量的大小、漏管的顺利度、传送带速度、输入电压波动等因素的干扰,随机性较大,系统难以建立准确的 PID 数学模型<sup>[3-4]</sup>,因此不宜采用经典控制理论进行控制,由于模糊控制对解决该类问题有着独特的控制优势<sup>[5-6]</sup>,为此将其应用在雷管自动装管机中。

#### 3.1 模糊控制系统中控制参数的选取

在该系统中,控制变量较多,包括漏管速度、传送带速度、装管(包括插管、步进电机转动和管壳在漏管器中的传递)速度、推模速度等,但解决问题的关键在于寻找那些既能在线监测、又能反映装管机工作进程的物理量。经反复研究它们之间的关系及对系统的影响程度,得出装管速度能够反映整机的工作速度及工作状态,因此以它作为基本控制参数。

#### 3.2 模糊控制器的结构

本设计由两个双输入单输出的模糊控制器组成<sup>[7-8]</sup>:即传送带模糊控制器和推模模糊控制器。传送带模糊控制器的输入为传送带速度  $v_s$  和装管速度  $v_z$ ,输出为拖动电机的转速(即调整后的传送带速度)。推模模糊控制器的输入为推模速度  $v_l$  和装管速度  $v_z$ ,输出为调整后的推模速度(即气缸的推模频率)。当两个模糊控制器的输出速度不同步时,应进行协调,方法是维持推模速度,调整传送带速度,以确保整个机械各部分同步动作。模糊控制系统结构如图 2 所示。

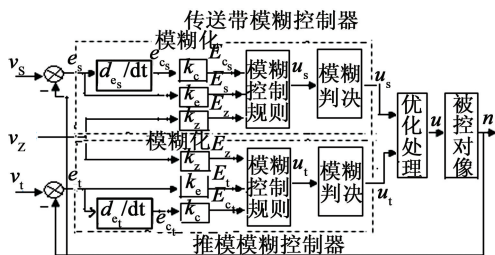


图 2 模糊控制器结构

Fig. 2 Structure of the fuzzy controller

#### 3.3 论域变换

在时域中若输入变量为  $x_0$ ,变化区间为  $[x_{\max}, x_{\min}]$ ,在论域中对应的输入变量为  $\dot{x}_0$ ,变化区间为  $[\dot{x}_{\max}, \dot{x}_{\min}]$ ,经变换可得:

$$\dot{x}_0 = \frac{\dot{x}_{\max} + \dot{x}_{\min}}{2} + k(x_0 - \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}); \quad (1)$$

$$k = \frac{\dot{x}_{\max} - \dot{x}_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (2)$$

式中:本设计中输入变量  $x_0$  可以是传送带速度或推模速度。

根据设计提出的工作效率不低于 2 万发/小时的要求,本系统中装管速度设定为 9 秒/盘,根据传送带凹槽的距离,传送带速度设定为 100 mm/s,推模速度设定为 9 秒/盘;在时域里模糊控制器中推模速度  $v_l$  的偏差  $e_l$  为:  $\{-2.0, -1.5, -1.0, -0.5, 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0\}$  秒/盘,模糊化为  $E_l$ :取值为  $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ ;传送带速度  $v_s$  的偏差  $e_s$  为  $\{-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8\}$  mm/s,模糊化为  $E_s$ :取值为  $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ 。由于传送带速度  $v_s$  是通过变频器控制拖动电机而得到的,故模糊控制器的输出量  $u$  只需控制变频器的输出频率  $f$  即可,此时变频器的频率输出范围为:  $(40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56)$  Hz,拖动电机采用 YVF100L2-8 型,对应的转速范围为:  $(570, 600, 630, 660, 690, 720, 750, 780, 810)$  r/min。

#### 3.4 隶属函数的确定及模糊化

传送带速度  $v_s$  偏差,推模速度  $v_l$  偏差及模糊控制器的输出量  $u$  的模糊语言变量均为  $\{NL, NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB, PL\}$ ,其中:对于传送带速度  $v_s$ 、推模速度  $v_l$ ,其模糊语言变量定义如下:NL、NB、NM、NS 分别表示比设定值小许多、小较多、小一点、略小,Z 表示与设定值相当,PS、PM、PB、PL 分别表示比设定值略大、大一点、大较多、大许多;对模糊控制器的输出  $u$ :NL、NB、NM、NS 分别表示输出量(即变频器的频率、推模速度)比设定值低许多、低较多、低一点、略低,Z 表示输出量与设定值相当,PS、PM、PB、PL 分别表示比设定值略高、高一点、高较多、高许多。

传送带速度  $v_s$  模糊控制器、推模速度  $v_l$  模糊控制器的输入模糊函数采用均匀分布的三角形隶属度函数,如图 3 所示。模糊控制器的输出量模糊函数采用不均匀的三角形隶属度函数,如图 4 所示。这样就做到了在装管速度较低时尽量采用偏高的转速,而在装管速度较高时,又尽量采用偏低的转速,

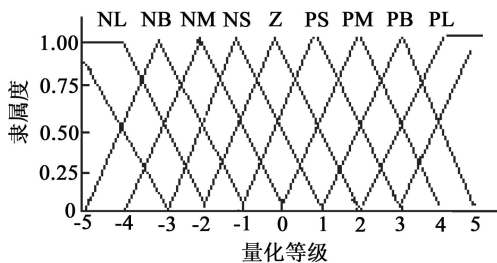


图 3 输入变量的隶属度函数图

Fig. 3 Membership function of input variables

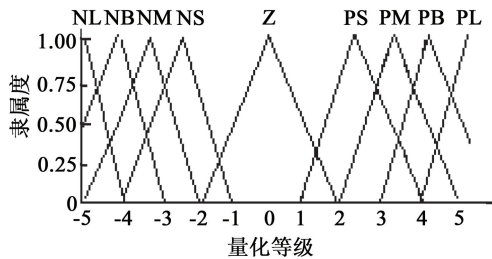


图 4 输出量隶属度函数图

Fig. 4 Membership function of output variables

其优点是可使系统的转速波动范围尽可能的小,比较平稳,动作协调一致。

### 3.5 模糊控制规则的确立及模糊推理

由于该设备在装模时要求定位准确、误差小,故本设计模糊控制器输入变量采用了级数较多的 9 级模糊划分,共 81 条语句,虽管控制语句较多,有些繁琐,但控制精度较高。以传送带模糊控制器为例,模糊语句表示为:

If  $E_s$  is NB and  $E_z$  is NB, the  $U_s$  is NB;

If  $E_s$  is NB and  $E_z$  is NM, the  $U_s$  is NB;

If  $E_s$  is NB and  $E_z$  is NS, the  $U_s$  is NM;

⋮

应用 Mamdani 推理,可得模糊矩阵

$$\mathbf{R}_1 = \text{NB}(E_s) \times \text{NB}(E_z) \times \text{NB}(U_s);$$

$$\mathbf{R}_2 = \text{NB}(E_s) \times \text{NM}(E_z) \times \text{NB}(U_s);$$

$$\mathbf{R}_3 = \text{NB}(E_s) \times \text{NS}(E_z) \times \text{NS}(U_s);$$

⋮

该矩阵也可以表示成: $\mathbf{R} = \bigcup_{i=1}^{81} \mathbf{R}_i$ ,这是一个  $(9 \times 9)$  的模糊矩阵。对拖动电机而言,输出转速的模糊量  $= (E_s \times E_z) \cdot \mathbf{R}_0$ 。

### 3.6 模糊判决

由加权平均法可得输出量的计算公式为:

$$U_i = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_{U_i}}{\sum_{i=1}^n \mu_{U_i}} \quad (3)$$

式中: $n$  为单节点数目, $u_i$  为离散论域的点, $\mu_{U_i}$  为相应点的隶属度函数值。据此可得出模糊控制输出查询表,见表 1。再经变换可得变频器的最终输出频率<sup>[9]</sup>为  $f = U_i$  (取 0.5 倍数) + 48 Hz,由此传送带的转速也就随之而定了。

### 4 模糊控制的实现

根据雷管装管机的分步动作,控制系统需要采集的信号数量和输出信号的数量,并考虑到其他部分的控制要求及扩展余量,决定 PLC 采用 FX<sub>2N</sub>-64MR-001 型,模拟量输入模块采用 FX<sub>2N</sub>-2AD 型,模拟量输出模块采用 FX<sub>2N</sub>-2DA 型,变频器采用台安 V<sub>2</sub> 系列。步进电机驱动器采用 2M420 型,步进电机采用 42HS2A47 型。控制电路主接线图如图 5 所示。

正常工作时,为使推模速度与装管速度同步,通过传感器对推出气缸 HV<sub>1</sub> 的动作时间进行检测,并经 K<sub>3</sub> 送入 PLC;为使传送带速度与装管速度同步,由测速发电机将反映速度高低的电压信号送入 FX<sub>2N</sub>-2AD 模块,经 A/D 转换后送给 PLC,在 PLC 中 CPU 依靠软件程序对其送来的信号进行算术运算和逻辑控制后,一方面从 Y<sub>15</sub> 输出,控制 HV<sub>1</sub> 的动作时间,另一方面通过 FX<sub>2N</sub>-2DA 模块输出 0~10 V 的模拟电压调节变频器的频率,这样就达到了使推模速度和传送带速度与装管速度同步的目的。当装管速度选择开关 K 分别置于位置 X<sub>4</sub>~X<sub>8</sub> 时,可选择 5 种不同的装管速度。对步进电机的正反转控制是通

表 1 模糊控制输出查询表

Tab. 1 Output query table of fuzzy control

$E_{cs}$	$E_s$								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	-8.0	-6.5	-4.0	-2.0	-1.0	0.5	1.0	1.5	2.0
-3	-6.5	-4.0	-2.5	-1.5	-0.8	0.6	1.2	1.8	2.5
-2	-6.0	-3.5	-2.0	-1.3	-0.5	0.7	1.5	2.3	3.0
-1	-4.0	-2.0	-1.5	-0.8	-0.2	0.8	2.0	3.0	4.0
0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	1.0	2.5	3.5	4.5
1	-1.5	-1.2	-0.8	-0.2	0.5	1.5	3.0	4.0	5.0
2	-0.8	-0.3	0.5	0.2	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5
4	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.5	8.0

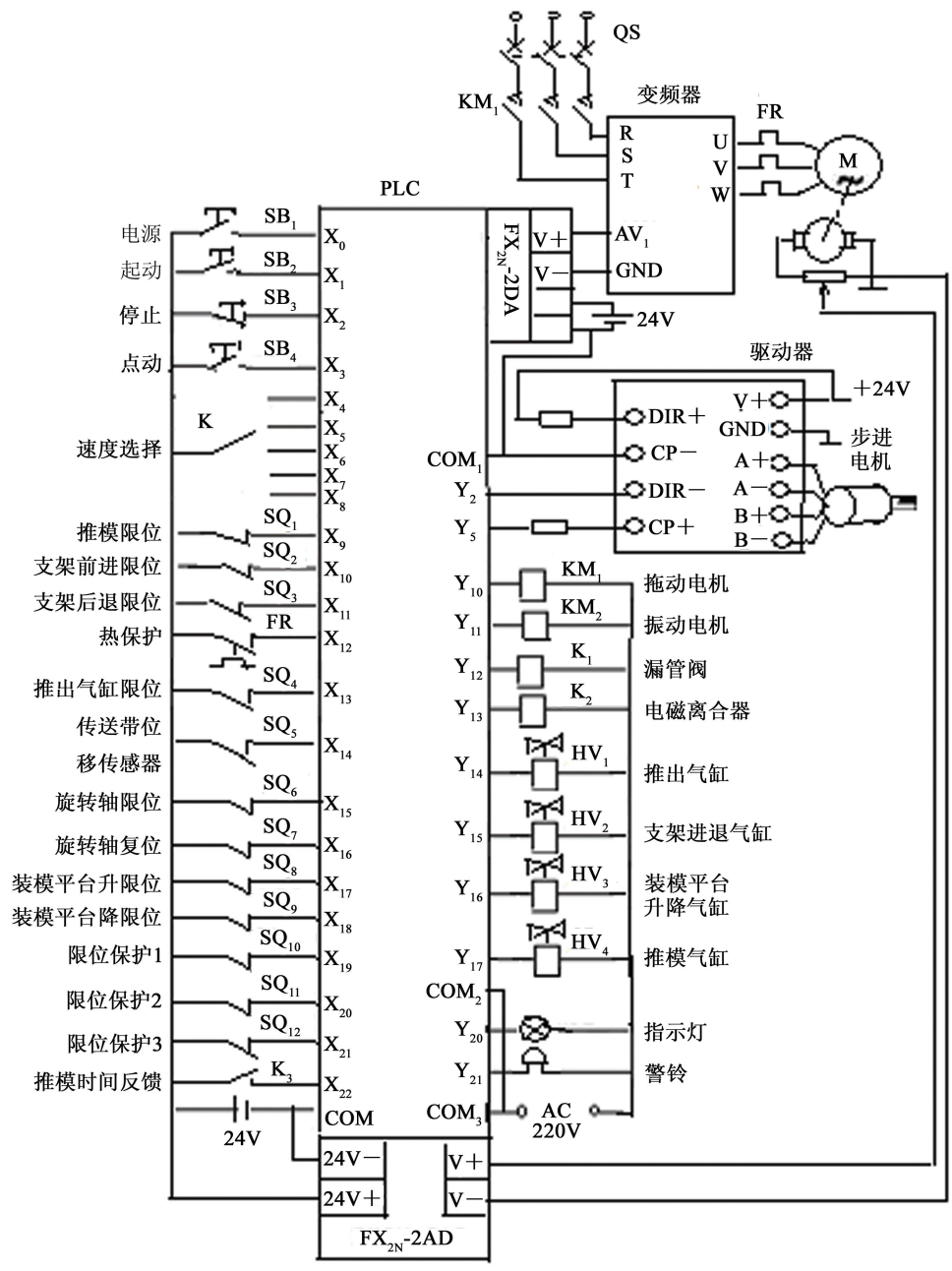


图 5 控制电路接线图

Fig. 5 Wiring diagram of control circuit

过 PLC 的 Y<sub>2</sub> 端输出高低电平来达到的,对其转动角度大小的控制是由 Y<sub>5</sub> 端输出的脉冲频率来达到的<sup>[10]</sup>。

5 应用

某企业甲班 2014 年 7 月和 9 月(每周 6 个工作日,每个工作日 6 h)的装(铜)管速度如表 2 所示。表 2 中,9 月 10 日产量明显小,查其生产记录可知是有一个 80 mm 管壳混入了 58 mm 管中,发生了卡壳,排除故障耗时约半小时所致。由表 2 可知:平均装管速度为 2.13 万发/小时;查其工作记录可知,装

管正向率为 100%;装管操作人数由 6~7 人减少为 1~2 人,且操作方便,具有故障报警功能,可与雷管装药环节形成一个完整的生产线。

6 结束语

经近一年的使用说明:在 PLC 中写入模糊算法,并以此驱动步进电机,进而实现对雷管管壳的正向控制。同时以装管速度作为基本变量,通过控制变频器的频率,以实现传送带速度的适时调控和对推管速度的适时调控,保证了装管机从进管、输管、正向、漏管、装模到送模的整个工作过程做到了



表 2    装管速度

Tab. 2    Tubing speed

(万发/班)

日期(7月)	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	14	15
装管速度(80 mm 管)	12.75	12.78	12.72	12.72	12.81	12.84	12.75	12.75	12.81	12.81	12.75	12.81	12.81
日期(9月)	1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	15	16
装管速度(58 mm 管)	12.78	12.84	12.84	12.81	12.79	12.84	12.81	11.77	12.78	12.81	12.84	12.84	12.84
16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31
12.72	12.72	12.75	12.75	12.81	12.81	12.81	12.84	12.75	12.75	12.78	12.81	12.84	12.75
17	18	19	20	22	23	24	25	26	27	29	30	—	—
12.81	12.87	12.87	12.81	12.84	12.84	12.81	12.87	12.84	12.78	12.84	12.81	—	—

同步动作,协调一致,达到了满意的效果。

参 考 文 献

- [1] 徐衍海,惠蕾. 火工系统新技术的发展动向[J]. 火工品,2001(1):37-41.  
Xu Yanhai, Hui Lei. Development trend of the system of initiating explosive device[J]. Initiators & Pyrotechnics. 2001(1):37-41.

[2] 朱维璐. 一种雷管生产中雷管组合模的装管机构:中国,201310550915[P]. 2014-03-26.

[3] 林雷,王洪瑞,任华彬. 基于模糊变结构的机械臂控制[J]. 控制理论与应用,2007,24(4):643-645,650.  
Lin Lei, Wang Hongrui, Ren Huabin. Fuzzy-based variable structure control for robotic manipulators[J]. Control Theory & Applications,2007,24(4):643-645,650.

[4] 顾伟军 彭亦功. 智能控制技术及其应用[J]. 自动化仪表,2006,27(增):101-104.  
Gu Weijun, Peng Yigong. Intelligent control technologies and their applications [J]. Process Automation Instrumentation, 2006,27 (Suppl.):101-104.

[5] 彭勇刚. 模糊控制工程应用若干问题研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.  
Peng Yonggang. A study on engineering application of fuzzy control[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2008.

[6] 赵笑笑. 基于模糊理论与常规 PID 控制的模糊 PID 控制方法研究[J]. 山东电力技术, 2009(6):54-57.  
Zhao Xiaoxiao. Research on fuzzy PID control method combined fuzzy theory and conventional PID control[J]. Shandong Electric Power, 2009(6):54-57.
- [7] 朱军丽. 基于模糊控制的交流电机直接转矩控制研究[D]. 沈阳:东北大学,2013.  
Zhu Junli. Direct torque control of AC motor based on fuzzy control [D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.

[8] 杨世勇,徐国林. 模糊控制与 PID 控制的对比及其复合控制[J]. 自动化技术与应用,2011,30(11):21-25.  
Yang Shiyong, Xu Guolin. Comparison and composite of fuzzy control and PID control[J]. Techniques of Automation and Applications, 2011,30(11):21-25.

[9] 彭天好. 变频泵控马达调速及补偿特性的研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.  
Peng Tianhao. Research on variable frequency pump-control-motor speed governing and compensation characteristics[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2003.

[10] 段英宏,杨硕. 步进电动机的模糊 PID 控制[J]. 计算机仿真, 2006, 23(2):290-293.  
Duan Yinghong, Yang Shuo. Fuzzy-PID control of stepping motor[J]. Computer Simulation, 2006, 23(2):290-293.

Application of Fuzzy Control Based on PLC in Detonator Tubing Machine

ZHU Weilu, AN Guoqing

School of Electrical Engineering, Hebei University of Science and Technology (Hebei Shijiazhuang, 050018)

[ABSTRACT] For the case of cumbersome process, workload and low efficiency in the traditional manual detonator production, an detonator tubing machine was designed. The fuzzy control method based on PLC was proposed after the mechanical structure had been designed optimally. This method takes three primary variables including tubing speed, conveyor speed and push-mode speed as controlled objects to finish the fuzzy control which includes fuzzy reasoning, discrete computing and look-up table online. The basic idea of this method is that PLC controls the stepper motor to change the speed of tubing. The push-mode speed and frequency of the inverter are also determined by PLC, so conveyor speed can be maintained at an optimal state to make every part of the tubing machine coordinated. The application results show that this machine is not only reliable, but also easy to be operated.

[KEY WORDS] detonator tubing machine;fuzzy inference;discrete computing;fuzzy control;stepper motor;the inverter